



Computersimulering af luftfordeling i rum

Nielsen, Peter Vilhelm

Published in:

Danvak magasinet : VVS, energi, indeklima, bygningsinstallationer

Publication date:

2003

Document Version

Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Nielsen, P. V. (2003). Computersimulering af luftfordeling i rum. *Danvak magasinet : VVS, energi, indeklima, bygningsinstallationer*, (5), 12-14.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Bygningsautomation, Net, Komponenter

Computersimulering af luftfordeling i rum, side 12

Automatik til commissioning, side 16

Varmegenvinding - råd og omtanke, side 22



Computersimulering af luftfordeling i rum

553

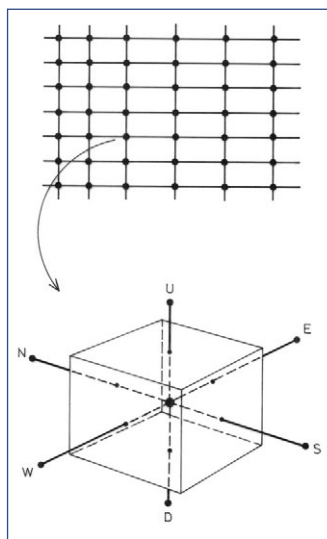
Af professor Peter V. Nielsen, Aalborg Universitet

Numerisk simulering af luftbevægelse eller, som det hedder på engelsk, "Computational Fluid Dynamics" (CFD) er på vej til at blive et væsentligt værktøj til dimensionering af luftfordelings-systemer og brandventilation samt til undersøgelse af termisk indeklima og luftkvalitet i enkelte rum eller hele bygninger

Ved en traditionel dimensionering af et luftfordelingssystem betragter man de strømnings-elementer, som systemet er sammensat af. For eksempel kan man følge en indblæsningsstråle, så længe den har et uforstyrret forløb i rummet, og beregne størrelser som maksimalhastighed og temperaturfordeling. Når strålen bliver afbøjet af flader eller af andre luftbevægelser, kan der opstå et kompliceret strømningsbillede, som ikke kan beskrives på en simpel måde. Det er i denne situation, at CFD har sin store fordel, da metoden beregner forholdene overalt i rummet og ikke kun i de begrænsede områder, som de traditionelle strømnings-elementer dækker.

Computermodel

Strømningsforhold og energiflow er beskrevet ved hjælp af et antal transportligninger. Normalt er der tale om en kontinuitetsligning, tre ligninger for bevægelsesmængdestrøm (en i hver af de tre koordinatretninger), en ligning for energitransport og en ligning for massetransport. Desuden anvendes der to ekstra ligninger til beskrivelse af turbu-



Figur 1 Netpunktsfordeling og kontrolvolumen omkring et enkelt netpunkt

lensen i strømningen. Der er i alt tale om otte ulineære koblede differentiaalligninger med følgende ubekendte: tre luft-hastigheder, trykket, temperaturen, koncentrationen, turbulent kinetisk energi samt endnu en variabel, der vedrører turbulentlensen.

Det er desværre ikke muligt at foretage en direkte løsning af disse differentiaalligninger. Der opstilles derfor en numerisk metode, hvor ligningerne omskrives til differensligninger. Strømningsfeltet opdeles i et



Peter V. Nielsen arbejder med luftfordeling samt varme- og massetransport i ventilerede lokaler. Han er medlem af STVF's Center for Indeklima og Energi og var med i programkomiteen for ROOMVENT-konferencen i København i september 2002

antal netpunkter som vist i figur 1. Der opstilles et volumen omkring hvert netpunkt, som afgrænser dette punkt fra nabopunkterne E, W, N, S, U og D. De otte differentiaalligninger, der gælder for hele løsningsfeltet, erstattes af otte differensligninger i hvert punkt. Hvis man for eksempel



Figur 2 Forsøg med brand i Ofenegg-tunnelen i Schweiz

anvender $90 \times 90 \times 90$ celler til at beskrive rummet, har man i alt $90 \times 90 \times 90 \times 8 = 5,8$ mio. ligninger.

Ligninger skal løses ved iteration, og der kan typisk være tale om ca. 3.000 gennemregninger, før man har fundet strømningsfeltet med

tilstrækkelig nøjagtighed.

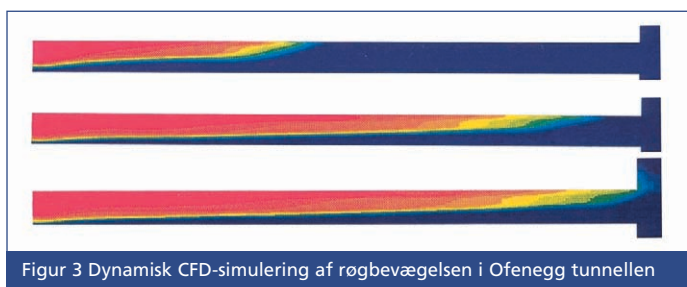
Dette betyder, at transportligningerne gennemregnes ca. 17 mia. gange. Det er disse forhold, der stiller krav til en passende computerkapacitet.

Der sker en fortsat udvikling af computere med forøgelse af regnekapacitet og faldende priser. Derfor vil CFD-beregninger med tiden få større og større betydning, og de vil i det lange løb blive enerådende inden for visse anvendelsesområder.

Som nævnt bliver der foretaget en direkte beregning af hastighed, tryk, temperatur, koncentration og turbulens. Det er alle størrelser, der er vigtige for indeklimaet og energiforholdene. Det er også enkelt at beregne afledede størrelser i strømningsfeltet som fx volumenstrøm, energistrøm, massestrøm, middelstrålingstemperatur, luftens middelalder, termisk komfort, procent utilfredse pga. træk, gradient, asymmetrisk stråling samt ventilationsindeks, eksponeringsindeks, osv.

Kvalitetskontrol

Det er forholdsvis enkelt at foretage en CFD-beregning, da



Figur 3 Dynamisk CFD-simulering af røgbevægelsen i Ofenegg-tunnelen

de kommercielle programmer er meget brugervenlige. Når man har gennemført en CFD-beregning og ser på det farvestrålende beregningsresultat, skal man dog gøre sig klart, at man blot har løst en række ligninger. Resultatet er ikke bedre end de data, der er brugt som grundlag for beregningerne, og den metode, der er anvendt.

Det er naturligvis afgørende, at man beskriver problemet med de rigtige forhold omkring løsningsfeltet. I den forbindelse er det vigtigt at få beskrevet det armatur, der skal anvendes i det virkelige lokale, da impulsstrømmen fra armaturet styrer mange detaljer i rumstrømningerne. Det er også vigtigt, at man kan beskrive energistrømmen i de omgivende vægge ind til nabo-rum og til udeklimaet.

Der kan være store usikkerheder forbundet med den numeriske metode. Det er vigtigt, at man vælger et stort antal netpunkter, da differensligningerne skal beskrive differentialligningerne og dermed et kontinuerligt forløb igennem rummet. Desværre betyder et stort netpunktsantal, at regnetiden forøges kraftigt. Et stort netpunktsantal kan også give problemer med konvergens, forstået på den måde, at man vanskeligt kan nå frem til en stabil løsning.

CFD-programmet giver mulighed for at vælge flere ligningsmodeller, hvoraf nogle er mere nøjagtige end andre. Det kan stille brugeren over for det dilemma, at den type, der giver den mest nøjagtige løsning, ikke altid vil konvergere mod en stabil løsning.

Dan Sørensen og Peter V. Nielsen har skrevet en artikel /1/, som behandler disse problemer og giver nogle anvisninger på udførelsen af kvalitetskontrol. Det er vigtigt, at brugere af CFD-beregninger er helt fortrolige med problemstillingerne, og det er vigtigt, de bliver belyst og rapporteret sammen med beregningsresultaterne.

Eksempler på CFD-beregninger

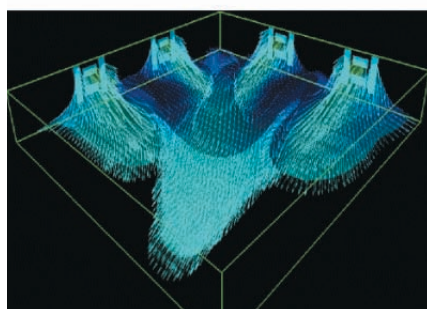
CFD-beregninger vil komme til at spille en stor rolle for funktionsbestemt brandventilation. Ved at gennemføre forskellige beregningssæt er det muligt at følge røgbevægelsen og fastlægge en egnet strategi i en kompleks situation med betydelig større sikkerhed end den traditionelle dimensionering efter et regelsæt.

Brand i en tunnel er en aktuell problemstilling. I 1965 blev der udført en række fuldskalaforsøg i den schweiziske Ofenegg-jernbanetunnel, se figur 2. Den er 131 m lang, og den blev lukket i den ene ende inden forsøgene. Branden blev antændt i et åbent kar med 100 liter petroleum. Røgfrontens hastighed ved antændelse af tunnelbranden var 2 m/s. Figur 3 viser et eksempel på computersimulering, hvor man ser røgens position henholdsvis 20, 59 og 114 sek. efter brandens start i Ofenegg-tunnelen. Ved en sådan CFD-beregning er det også muligt at

få et overblik over alle andre betydende parametre som fx røgens eventuelle lagdelings-højde, strålingstemperatur og sigtbarhed i den nederste del af tunnelen.

Som nævnt i indledningen kan CFD også anvendes med fordel ved komfortberegninger. Som et eksempel kan nævnes bestemmelsen af hastigheden i opholdszonen i et lokale med fortrængningsventilation. Hvis der anvendes et enkelt armatur i et lokale, eller hvis flere armaturer er monteret i én væg, er det enkelt at bestemme hastighedsfordelingen ud fra strømningselementmetoden. Hvis man derimod placerer armaturerne i en geometri, som får den lagdelte strømning til at kollidere, opstår der en situation, hvor det kan være nødvendigt at beregne hastighedsfordelingen i hele opholdszonen. Figur 4 viser en situation, hvor fire armaturer parvis står vinkelret på hinanden. CFD-simuleringen viser, at der opstår en sammensat strømning med et nogenlunde konstant hastighedsniveau.

De to eksempler illustrerer nogle få af de anvendelsesmuligheder, man har med CFD. Der er ingen tvivl om, at CFD i fremtiden vil blive et dagligdags værktøj for de rådgivende ingeniører på lige fod med andre dimensioneringsprogrammer og energisimuleringsprogrammer. ■



Figur 4 Forsøgsopstilling med fire indblæsningsarmaturer til fortrængningsventilation. Forsøgene på det øverste billede er udført i Lindabs fuldskalalaboratorium i Farum. Det nederste billede viser CFD-simulering af hastighedsfordeling i den lagdelte strømning i opholdszonen, og farven angiver hastighedsniveauet

Litteratur

/1/ D. N. Sørensen and P. V. Nielsen, Quality Control of Computational Fluid Dynamics in Indoor Environment. Indoor Air, Vol 13, pp 2-17, Blackwell Munksgaard. 2003.